

Estimación de emisiones provenientes de fuentes móviles en el tramo vial Bogotá-Facatativá (Cundinamarca)

CLAUDIA PATRICIA DÁVILA PINZÓN¹

AURA LILIANA ROJAS PÉREZ²

NÉSTOR YEZID ROJAS ROA³

RESUMEN

Se realizó un ejercicio de estimación de emisiones de contaminantes criterio generados por fuentes móviles para el tramo vial comprendido entre Bogotá y Facatativá, usando una aproximación *bottom-up*, para la flota vehicular registrada y cuantificada en el segundo semestre del 2012, categorizada en vehículos livianos, buses, camiones y motocicletas. Se utilizaron 2 métodos de estimación de emisiones: el modelo IVE y factores de emisión obtenidos en ruta para Bogotá. Con los 2 métodos, se encuentra que las emisiones de CO están dominadas por vehículos livianos y camiones, mientras que las de NO_x y PM provienen principalmente de buses y camiones. Las emisiones difieren significativamente entre los métodos de estimación, lo cual sugiere la necesidad de refinar los factores de emisión.

Palabras clave: emisiones de fuentes móviles, factores de emisión, modelo IVE.

¹ Estudiante de Maestría en Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Colombia. Correo electrónico: cpdavidap@unal.edu.co

² Estudiante de Maestría en Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Colombia. Correo electrónico: aulrojaspe@unal.edu.co

³ Profesor Asociado. Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia. Correo electrónico: nyrojasr@unal.edu.co

FECHA DE RECEPCIÓN: 13 DE AGOSTO DEL 2013 • FECHA DE APROBACIÓN: 7 DE NOVIEMBRE DEL 2013

Cómo citar este artículo: Dávila Pinzón, C. P., Rojas Pérez, A. L. y Rojas Roa, N. Y. (2013). Estimación de emisiones provenientes de fuentes móviles en el tramo vial Bogotá-Facatativá (Cundinamarca). *Épsilon* (21), 157-172.

An Estimate of the Emissions Produced by Mobile Sources in the Bogota-Facatativá (Cundinamarca) Road

ABSTRACT

The purpose of the project was to estimate the emission of criteria pollutants generated by mobile sources in the Bogota-Facatativá road, using a bottom-up approach, for the vehicle fleet registered and quantified in the second semester of 2012, categorized in light vehicles, buses, trucks and motorcycles. Two methods of emission estimation were used: the IVE model and emission factors obtained in route for Bogota. Both methods show that the CO emissions mostly come from light vehicles and trucks, whereas NO_x and PM mainly come from buses and trucks. The emission values are significantly different between the two estimation models, which suggests the need to refine the emission factors.

Keywords: Emissions from mobile sources, emission factors, IVE model.

Estimación de emisiones provenientes de fuentes móviles na malha viária Bogotá-Facatativá (Cundinamarca)

RESUMO

Realizou-se um exercício de estimação de emissões de poluentes critérios gerados por fontes móveis para a malha viária compreendida entre Bogotá e Facatativá, usando uma aproximação *bottom-up*, para a frota veicular registrada e quantificada no segundo semestre de 2012, categorizada em veículos leves, ônibus, caminhões e motocicletas. Foram utilizados 2 métodos de estimação de emissões: o modelo IVE e fatores de emissão obtidos em rota para Bogotá. Com os 2 métodos, se encontram as emissões de CO estão dominadas por veículos leves e caminhões, enquanto que as de NO_x e PM se originam principalmente de ônibus e caminhões. As emissões diferem significativamente entre os métodos de estimação, o qual sugere a necessidade de refinar os fatores de emissão.

Palavras chave: emissões de fontes móveis, fatores de emissão, modelo IVE.

Introducción

A partir del interés de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) por definir las acciones requeridas para el control de emisiones de contaminantes del aire en su jurisdicción, se ha planteado el propósito de evaluar detalladamente y de manera desagregada en el tiempo y en el espacio, las emisiones de fuentes móviles, siguiendo una metodología *bottom-up*. Esta estimación requiere del levantamiento detallado de información de actividad vehicular y el uso de factores de emisión, bien sea a partir de bases de datos o de mediciones directas.

Quizá la mejor experiencia que se ha tenido en Colombia en el levantamiento de información de actividad vehicular fue la de Giraldo (2005), quien ejecutó una campaña de campo rigurosa para obtener información requerida por el modelo *international vehicle emissions* (IVE, por sus siglas en inglés). Otros inventarios que han utilizado este modelo no han realizado este tipo de campañas de campo, de manera que utilizan los resultados obtenidos para Bogotá o para otras ciudades como base para su estimación.

El modelo IVE fue diseñado para estimar las emisiones de vehículos motorizados, y tiene como principal propósito el ser usado en países en vías de desarrollo. El modelo estima contaminantes atmosféricos locales, gases efecto invernadero y tóxicos, asimismo utiliza distribuciones locales de la tecnología vehicular y de los patrones de conducción y factores meteorológicos para adaptar el modelo a la situación local (Davis *et al.*, 2005). Este modelo calcula las emisiones totales de gases de escape, como la suma de las emisiones de arranque en frío y emisiones en caliente (Wang *et al.*, 2008).

El modelo fue desarrollado por el Centro para la Investigación y Tecnología Ambiental (CE-CERT) de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de California en Riverside (UCR), Investigación de Sistemas Sustentables Globales (GSSR) y el Centro de Investigación de Sistemas Sustentables Internacionales (ISSRC, 2008).

El modelo requiere principalmente 2 archivos de entrada, que describen la flota y actividad vehicular para la zona de interés. Un tercer archivo opcional se utiliza en el caso de que la localidad de interés tenga información específica de factores de emisión. La información de flota y actividad debe existir o debe ser obtenida. Para estimar las emisiones de un área, es necesario recolectar información de los patrones

de conducción y de las condiciones ambientales específicas del área. Una vez recolectada, esta información se transforma en un archivo de entrada del modelo IVE.

Por otro lado, Rodríguez y Behrentz (2009) determinaron factores de emisión por medición directa en ruta, cuyos resultados se han utilizado para actualizar los inventarios en Bogotá, y podrían ser utilizados para estimar emisiones en ciudades con la misma altitud y con un parque vehicular similar al de la capital.

Este trabajo muestra los resultados del primer ejercicio de aproximación a la estimación de inventarios para Cundinamarca, utilizando como piloto la vía entre Bogotá y Facatativá, y aplica tanto el modelo IVE como los factores de emisión generados por medición directa en ruta, con el fin de determinar la diferencia entre los 2 métodos.

Metodología

Zona de estudio y factores de emisión

La estimación de emisiones en la vía que conecta a Bogotá con los municipios de Funza, Mosquera, Madrid y Facatativá (figura 1) se desarrolló mediante una aproximación *bottom-up*, la cual permite una cuantificación detallada, partiendo de información específica para el área de estudio. Con el fin de comparar 2 métodos de estimación de emisiones, se utilizó el modelo IVE 2.0.2 y los factores de emisión generados por medición directa en ruta para Bogotá.

Debido a que el alcance de este ejercicio de estimación de emisiones no involucró campaña de campo, en la información para la generación del archivo “flota y localidad”, requerido por el modelo IVE, se emplearon los datos disponibles para Bogotá, generados por Giraldo en el 2005.

Los factores de emisión representan la cantidad de contaminante emitido o producido por el factor de actividad establecido en el cálculo por realizar. Los factores de emisión empleados para la estimación de las emisiones fueron tomados del Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá (PDDAB) de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, desarrollados por Rodríguez y Behrentz (2009).



Figura 1. Zona de estudio vía Bogotá-Facatativá

Fuente: elaboración propia a partir de Google Maps (2013).

Categorización vehicular y definición del factor de actividad

Para la aplicación de las metodologías planteadas anteriormente, se empleó información existente referente al tamaño y categorización de la flota que circula por la zona de estudio, para lo cual, se emplearon las bases de datos suministradas por la Concesión CCFC S. A. vía Bogotá (Fontibón)-Facatativá (Los Alpes) para los años 2011 y 2012. Esta base de datos contiene información de la cantidad de vehículos que transitan por la Estación del Río Bogotá (sentido oriente-occidente) y la Estación El Corzo (sentido occidente-oriente).

A su vez, la información se encuentra dividida en las categorías propias establecidas por el peaje: categoría I (automóviles, campero *pick up*, microbús), categoría II (buseta, bus, bus metropolitano), categoría III (camión pequeño F-360), categoría IV (camión grande F-600), categoría V (camión y tractocamión de 3 o 4 ejes), categoría VI (tractocamión de 5 ejes) y categoría VII (tractocamión de 6 ejes).

Debido a que el peaje no realiza conteos de las motocicletas que transitan por las vías, se recurrió a los conteos realizados por la Universidad Nacional de Colombia (UN) y la Gobernación de Cundinamarca para la formulación de los planes de

movilidad urbana con visión regional para los municipios de Madrid y Mosquera (2011) y Funza (2009).

Para la estimación de las emisiones que se generan en el tramo vial en estudio, se establecieron cuatro flotas vehiculares generales correspondientes a vehículos livianos (categoría I, peaje), buses (categoría II, peaje), camiones (categoría III al VII del peaje) y motocicletas, sin embargo, para cada uno de los métodos de estimación se tomaron en cuenta aspectos específicos.

Las tendencias vehiculares se establecieron a partir de los datos suministrados por la concesión CCFC S. A. para los años 2011 y 2012; las gráficas de emisiones se desarrollaron mediante el *software* estadístico R Studio®. El periodo analizado comprende el segundo semestre del 2012, que representa de manera cercana la flota más reciente que transita por la zona de estudio.

Para el caso de las motocicletas, se emplearon los conteos realizados para el 2011 y se proyectaron las cantidades al 2012, determinando las proporciones con respecto a la flota de vehículos livianos (asumiendo un comportamiento similar entre ambas flotas) y distribuyendo porcentualmente las cantidades en los días y horas en las cuales no se contaba con datos.

Como es conocido, el comportamiento vehicular varía dependiendo de la hora del día, así como del día de la semana, por lo cual, se evaluaron independientemente los días entre semana (lunes a viernes), diferenciando sábados, domingos y festivos, para establecer los días y horas en los cuales se presentan las mayores emisiones de contaminantes.

El factor de actividad se estableció dependiendo de la distancia del corredor que comprende los municipios de Funza, Mosquera, Madrid y Facatativá. Según la información geográfica existente para la zona, se establecieron las longitudes de recorrido vehicular presentados en la tabla 1.

Otro parámetro importante para la estimación de emisiones es la velocidad promedio de conducción por cada una de las flotas vehiculares, las cuales varían dependiendo del día entre semana. La tabla 2 presenta las velocidades promedio estimadas para la formulación de los planes de movilidad urbana con visión regional (Gobernación de Cundinamarca y UN, 2011).

Tabla 1. Distancias Bogotá-Facatativá

DISTANCIA COMPRENDIDA ENTRE		LONGITUD (km)
Río Bogotá	Funza	3,29
Funza	Mosquera	6,02
Mosquera	Madrid	10,34
Madrid	Facatativá (estación del tren)	7,77
Total kilómetros del tramo		27,42

Nota: restitución a partir de ortofotomapa, resolución 0,5 cm, del 2009 y 2010. Escala 1:10000. Fecha de la restitución: 2011. El factor de actividad se definió para el escenario extremo en el cual todos los vehículos se movilizan hasta la estación del tren ubicada en el municipio de Facatativá, definiendo el factor de actividad para un recorrido de 54,8 km recorridos por cada vehículo de cada una de las flotas definidas.

Fuente: base cartográfica IGAC.

Tabla 2. Velocidades promedio, flota de vehículos livianos y buses

CORREDOR	VELOCIDAD (km/h)	
	ENTRE SEMANA	FIN DE SEMANA
Perimetral de la Sabana	28,5	25,3
Troncal de Occidente (vehículos livianos)	57,3	53,6
Troncal de Occidente (buses)	36,7	31,6
Zona urbana	18,7	17,9

Fuente: Gobernación de Cundinamarca y Universidad Nacional (2011).

El Plan de Movilidad no contempla las velocidades promedio para la flota de camiones y motocicletas, por lo cual, se emplearon las velocidades determinadas en el IVE Project para Bogotá (2005) en relación con estas flotas (tabla 3).

Tabla 3. Velocidades promedio, flota de camiones y motocicletas

FLOTA	VELOCIDAD (km/h)
Camiones	50,0
Motocicletas	25,1

Fuente: Giraldo (2005).

Resultados

Composición de la flota vehicular

La figura 2 muestra que el tipo de flota que mayor circulación posee en el tramo vial Bogotá-Facatativá es la de vehículos livianos y motocicletas, seguidos de la flota de camiones y buses.

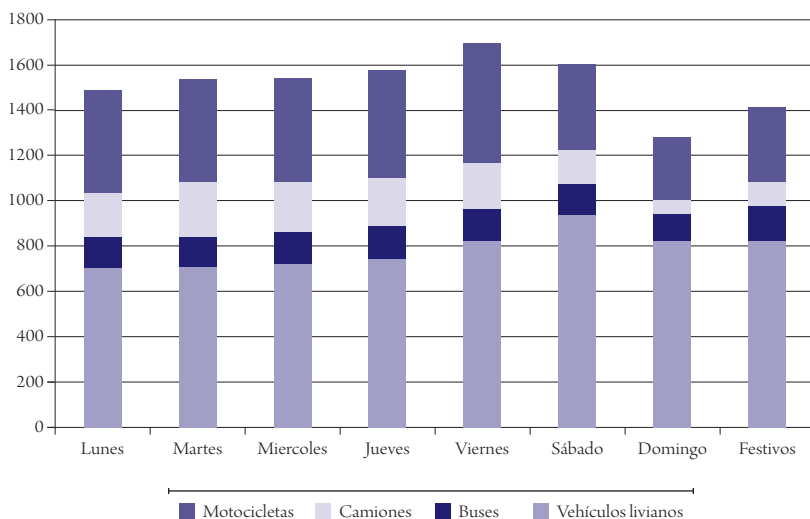


Figura 2. Composición del flujo total Bogotá-Facatativá

Fuente: elaboración propia.

El volumen de vehículos livianos representa el 45 % del total, y es la flota que cuenta con mayor circulación, aproximadamente 6.882.594 vehículos por año. La segunda flota de mayor circulación es la de motocicletas, con aproximadamente 4.005.277 motos que transitan por el corredor vial anualmente, lo que equivale al 26 % del total de la composición de la flota. En menor medida están las flotas de camiones y buses con un porcentaje de uso del corredor de 15 % y 14 %, correspondientes a 2.377.295 y 2.189.165 vehículos por año que recorren la vía Bogotá-Facatativá, respectivamente.

En la figura 3 se observa el comportamiento horario de la flota de buses durante la semana y fines de semana; durante la semana circulan un promedio de 141 vehículos, y se observa un pico a las 7:00 horas durante los días de la semana que

disminuye a medio día, y se presenta un aumento en las horas de la tarde, con picos a las 16:00 y, finalmente, a las 20:00.

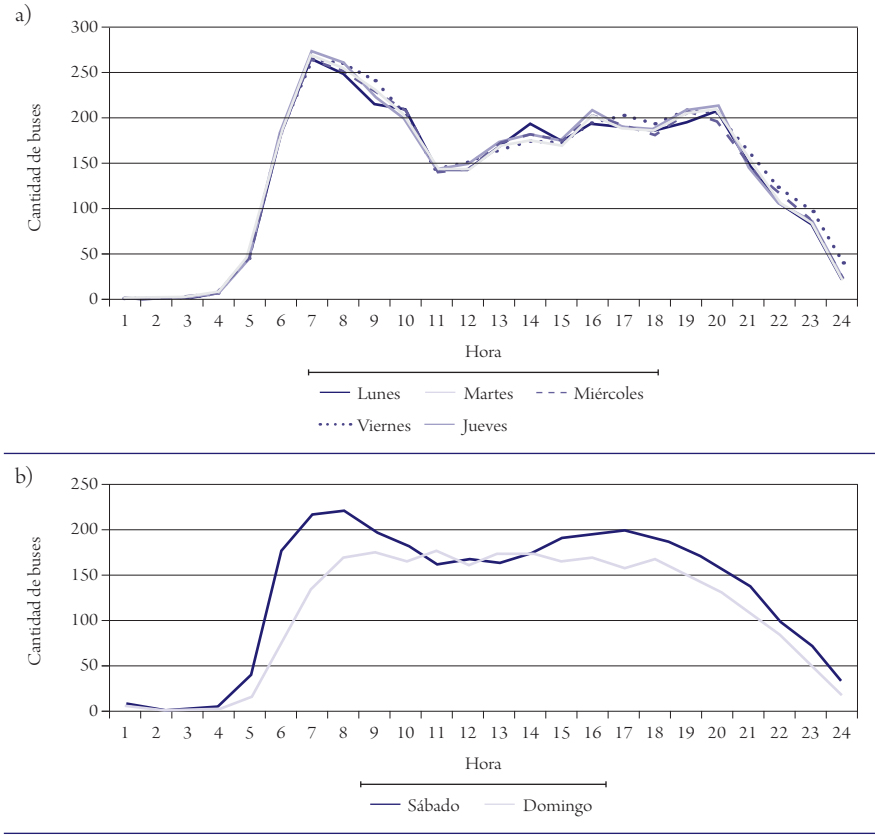


Figura 3. Comportamiento horario buses (entre semana y fines de semana)

Fuente: elaboración propia.

Estimación de emisiones

La estimación de emisiones se basó en la sumatoria del conteo vehicular en ambos sentidos, para cada una de las cuatro flotas: vehículos livianos, buses, camiones y motocicletas. Se estimaron emisiones horarias de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y material particulado (PM). A partir de la utilización de los 2 métodos de estimación, se obtuvieron resultados de emisiones promedio, mínimas y máximas, para cada contaminante, asumiendo que todos los vehículos de las diferentes categorías se desplazan desde el río Bogotá hasta la Estación del Tren ubicada en el municipio de Facatativá (tabla 4).

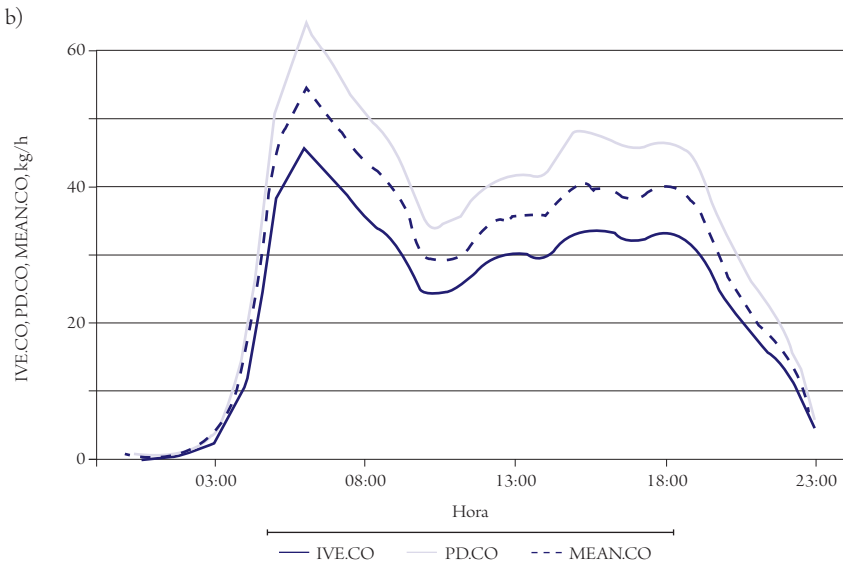
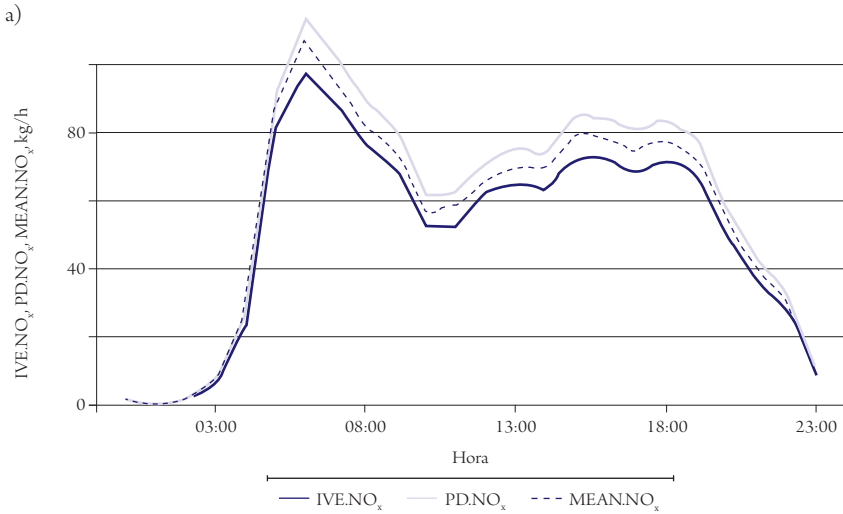
Tabla 4. Emisión estimada para cada flota vehicular

PERIODO	CANTIDAD VEHÍCULOS LIVIANOS (AÑO)	RANGO EMISIÓN CO (t/AÑO)			RANGO EMISIÓN NO _x (t/AÑO)			RANGO EMISIÓN PM (t/AÑO)		
		MÍNIMO (IVE)	MÁXIMO (PD)	PROMEDIO	MÍNIMO (IVE)	MÁXIMO (PD)	PROMEDIO	MÍNIMO (IVE)	MÁXIMO (PD)	PROMEDIO
Entre semana	4.339,731	2464,97	8031,79	5248,38	160,31	363,19	261,75	0,70	1,24	0,97
Sábados	1.161,450	683,34	2149,56	1416,45	45,65	97,20	71,43	0,19	0,33	0,26
Domingo	1.045,845	614,05	1935,61	1274,83	40,95	87,53	64,24	0,18	0,30	0,24
Festivos	335,568	197,58	621,06	409,32	13,20	28,08	20,64	0,06	0,10	0,08
Total	6.882,594	3960	12738	8349	260	576	418	1	2	2
PERIODO	CANTIDAD BUSES (AÑO)	RANGO EMISIÓN CO (t/AÑO)			RANGO EMISIÓN NO _x (t/AÑO)			RANGO EMISIÓN PM (t/AÑO)		
		MÍNIMO (IVE)	MÁXIMO (PD)	PROMEDIO	MÍNIMO (IVE)	MÁXIMO (PD)	PROMEDIO	MÍNIMO (PD)	MÁXIMO (IVE)	PROMEDIO
Entre semana	1,712,539	139,56	196,06	167,81	300,05	347,11	323,58	15,44	60,65	38,05
Sábados	221,144	32,20	38,95	35,57	69,21	65,88	67,55	3,04	13,70	8,37
Domingo	196,343	28,51	34,59	31,55	61,31	58,49	59,90	2,70	12,16	7,43
Festivos	59,139	8,59	10,42	9,50	18,48	17,62	18,05	0,81	3,67	2,24
Total	2,189,165	209	280	244	449	489	469	22	90	56

PERIODO	CANTIDAD CAMIONES (AÑO)	RANGO EMISIÓN CO (t/AÑO)				RANGO EMISIÓN NO _x (t/AÑO)				RANGO EMISIÓN PM (t/AÑO)					
		MÍNIMO (PD)	MÁXIMO (IVE)	PROMEDIO	MÍNIMO (IVE)	MÁXIMO (PD)	PROMEDIO	MÍNIMO (IVE)	MÁXIMO (PD)	MÍNIMO (PD)	MÁXIMO (IVE)	PROMEDIO	MÍNIMO (PD)	MÁXIMO (IVE)	PROMEDIO
Entre semana	1.887,422	3510,07	6197,06	4853,56	561,03	642,96	602,00	31,72	53,51	42,62					
Sábados	295,853	550,20	1008,46	779,33	90,02	100,78	95,40	4,97	9,57	7,27					
Domingo	146,979	273,34	530,14	401,74	49,49	50,07	49,78	2,47	7,12	4,79					
Festivos	47,040	87,48	175,85	131,66	15,97	16,02	16,00	0,79	2,32	1,55					
Total	2.377,295	4421	7912	6166	717	810	763	40	73	56					
PERIODO	CANTIDAD MOTOCICLETAS (AÑO)	RANGO EMISIÓN CO (t/AÑO)				RANGO EMISIÓN NO _x (t/AÑO)				RANGO EMISIÓN PM (t/AÑO)					
		MÍNIMO (PD)	MÁXIMO (IVE)	PROMEDIO	MÍNIMO (IVE)	MÁXIMO (PD)	PROMEDIO	MÍNIMO (IVE)	MÁXIMO (PD)	MÍNIMO (PD)	MÁXIMO (IVE)	PROMEDIO	MÍNIMO (PD)	MÁXIMO (IVE)	PROMEDIO
Entre semana	3.064,225	1031,27	3726,42	2378,84	13,12	36,17	24,64	14,84	39,72	27,28					
Sábados	466,575	173,72	672,04	422,88	2,17	6,09	4,13	2,50	7,09	4,79					
Domingo	337,931	125,82	486,57	306,20	1,59	4,41	3,00	1,81	5,13	3,47					
Festivos	136,546	50,84	192,51	121,67	0,63	1,78	1,21	0,73	2,03	1,38					
Total	4.005,277	1382	5078	3230	18	48	33	20	54	37					

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 4 se encuentran los resultados de las emisiones aplicando cada metodología y el promedio para cada flota vehicular, y en la figura 4 se presentan los resultados estimados para la flota de buses circulante durante la semana, aplicando los factores establecidos en el Plan Decenal de Descontaminación de Aire de Bogotá (para efectos de la gráfica este se denomina PD) y el modelo IVE, adicionalmente, se presenta el promedio aritmético de las emisiones entre los dos métodos.



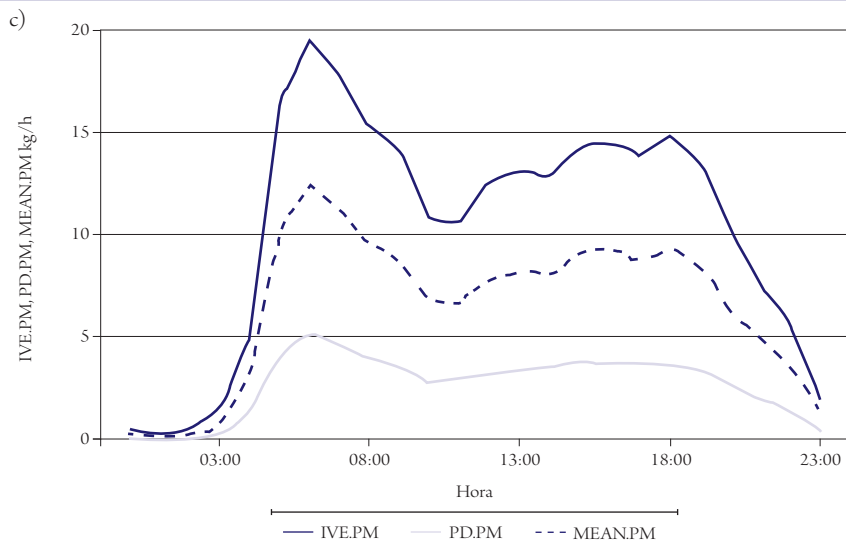


Figura 4. Rango de emisiones por semana, buses: a) NO_x , b) CO y c) PM

Fuente: elaboración propia.

Las estimaciones de emisiones de CO por el modelo IVE y a partir de factores de emisión medidos en ruta para Bogotá fueron cercanas, indicando que hay poca variación al estimar las emisiones de este contaminante por cualquiera de los dos métodos. Para NO_x , la diferencia entre los 2 métodos se incrementa. Una diferencia significativa que se presenta entre las estimaciones de emisiones por ambos métodos es para el material particulado, que es considerado el contaminante más crítico en las ciudades colombianas, especialmente en Bogotá. Hay que aclarar que el análisis anterior solo hace referencia a buses.

La figura 5 presenta la participación porcentual promedio de cada flota vehicular en la generación de emisiones en el tramo vial Bogotá-Facatativá para cada contaminante; los camiones y buses presentan la mayor contribución de material particulado y óxidos de nitrógeno, mientras que la flota de vehículos livianos presenta mayor aporte de monóxido de carbono.

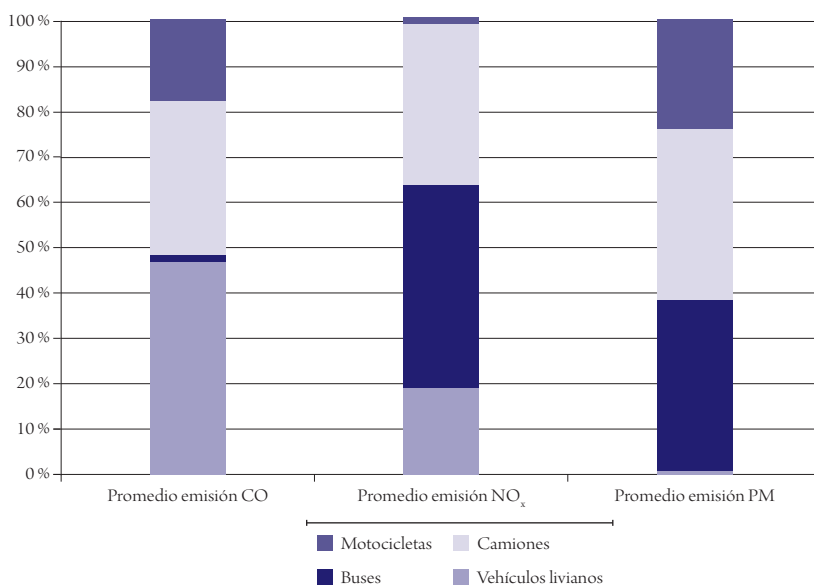


Figura 5. Participación porcentual de las flotas en la emisión de contaminantes

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Se realizó la estimación de emisiones de monóxido de carbono, material particulado y óxidos de nitrógeno para diversas flotas en un corredor vial, como ejercicio piloto para el inventario de emisiones de la jurisdicción de la CAR, mediante 2 aproximaciones: el modelo IVE y los factores de emisión de mediciones directas para Bogotá. Las emisiones presentan mayores diferencias entre los 2 métodos para la emisión de NO_x en las flotas de vehículos livianos y motocicletas. Para el caso de PM, las mayores diferencias se presentan en la flota de buses y camiones. Se hace necesario obtener información de campo más detallada, capturando las condiciones reales de la zona, y realizar estimaciones de la incertidumbre asociada.

De los resultados obtenidos se observa que la generación de monóxido de carbono es emitido principalmente por la flota de vehículos livianos y la flota de camiones; los óxidos de nitrógeno por las flotas de camiones y buses; y, finalmente, el material particulado por las flotas de buses, camiones y motocicletas. Adicionalmente, la producción de NO_x es menor que la producción de CO en los vehículos que

utilizan gasolina (vehículos livianos y motocicletas) en comparación con los vehículos diésel (buses); para el caso específico de los camiones, la emisión de CO es mayor que la de NO_x, lo que se puede atribuir a la sobrestimación de los factores de emisiones manejados por ambas metodologías.

Las mayores emisiones se generan entre las 6:00 y 9:00 horas, periodo en el cual se presenta la mayor actividad vehicular. Se observa un segundo episodio de aumento de emisiones entre las 16:00 y las 20:00 horas, siendo de menor magnitud que las emisiones presentadas más temprano en la mañana. Las mayores emisiones se presentan durante los días entre semana y se reducen en los fines de semana.

Trabajo futuro

Se estimará el inventario de emisiones por fuentes móviles y su incertidumbre en la jurisdicción de la CAR, implementando a cabalidad la metodología proporcionada por el ISSRC para la recolección de datos representativos requeridos por el modelo de emisiones IVE, determinando las características y costumbres propias de conducción, así como la categorización, caracterización y distribución de la flota vehicular.

Referencias

- Centro de Investigación de Sistemas Sustentables Internacionales (ISSRC). (2008). *Manual del usuario del modelo IVE. Versión 2.0*. Estados Unidos. Recuperado de [http://www.issrc.org/ive/downloads/manuals/UsersManual\(sp\).pdf](http://www.issrc.org/ive/downloads/manuals/UsersManual(sp).pdf).
- Davis, N., Lents, J., Osses, M., Nikkila, N. y Barth, M. (2005). Development and Application of an International Vehicle Emissions Model. *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, 1939, 157-165. Recuperado de <http://www.issrc.org/ive/>.
- Giraldo, L. (2005). *Estimación del inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Bogotá* (tesis de maestría inédita). Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Recuperado de http://biblioteca.uniandes.edu.co/Tesis_2006_primer_semestre/00006639.pdf.
- Gobernación de Cundinamarca y Universidad Nacional de Colombia. (2011). *Formulación del Plan de Movilidad Urbana con Visión Regional-Plan de Movilidad Madrid*

Estudio de Ordenamiento Físico, Funcional y de Gestión del Corredor Férreo de Occidente de la Sabana de Bogotá. Formulación del Plan de Movilidad Urbana con Visión Regional para el Municipio de Madrid-Plan de Movilidad. Gobernación de Cundinamarca, Cundinamarca, Colombia.

Gobernación de Cundinamarca y Universidad Nacional de Colombia. (2011). *Formulación del Plan de Movilidad Urbana con Visión Regional-Plan de Movilidad Mosquera Estudio de Ordenamiento Físico, Funcional y de Gestión del Corredor Férreo de Occidente de la Sabana de Bogotá. Formulación del Plan de Movilidad Urbana con Visión Regional para el Municipio de Mosquera-Plan de Movilidad.* Gobernación de Cundinamarca, Cundinamarca, Colombia.

Humberto, J. (2009). Calidad de los combustibles en Colombia. *Revista de Ingeniería*. Mayo.
King's College London. (2012). *The Openair Manual, Open-Source Tools For Analyzing Air Pollution Data*. Londres. Recuperado de <http://www.openair-project.org/Downloads/OpenAirManual.aspx>

Lents, J., Davis, N., Osses, M., Nikkila, R. y Barth, M. (2004). *Comparison of on-Road Vehicle Profiles collected in Seven Cities Worldwide*. Ponencia presentada en Transport and Air Pollution, 13th International Scientific Symposium, NCAR, Boulder, CO. Recuperado de <http://www.issrc.org/ive/>.

Municipio de Funza y Universidad Nacional de Colombia. (2009). *Formulación del Plan Vial y de Movilidad del Municipio de Funza, Cundinamarca. Plan Maestro de Movilidad Municipio de Funza, Cundinamarca.* Municipio de Funza, Cundinamarca, Colombia.

Peñaloza, N. y Rojas, N. (2012). *Desagregación de inventarios de emisiones: Bogotá como caso de estudio.* Bogotá: Académica Española.

Rodríguez, P. y Behrentz, E. (2009). *Actualización del inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Bogotá a través de mediciones directas* (tesis inédita). Universidad de Los Andes, Bogotá.

Secretaría Distrital de Ambiente. (2010). *Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá.* Bogotá: Secretaría Distrital de Ambiente-Oficina Asesora de Comunicaciones. Recuperado de http://ambientebogota.gov.co/en/c/document_library/get_file?uuid=b5f3e23f-9c5f-40ef-912a-51a5822da320&groupId=55886.

Wang, H., Chen, C., Huang, C. y Fu, L. (2008). On-Road Vehicle Emission Inventory and its Uncertainty Analysis for Shanghai, China. *Science of the Total Environment*, 398 (1-3), 60-67. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969708000399>.